Technical Papers

36th Annual Meeting

International Institute of Ammonia Refrigeration

March 23–26, 2014

2014 Industrial Refrigeration Conference & Heavy Equipment Show
Nashville, Tennessee

ACKNOWLEDGEMENT

The success of the 36th Annual Meeting of the International Institute of Ammonia Refrigeration is due to the quality of the technical papers in this volume and the labor of its authors. IIAR expresses its deep appreciation to the authors, reviewers and editors for their contributions to the ammonia refrigeration industry.

ABOUT THIS VOLUME

IIAR Technical Papers are subjected to rigorous technical peer review.

The views expressed in the papers in this volume are those of the authors, not the International Institute of Ammonia Refrigeration. They are not official positions of the Institute and are not officially endorsed.

International Institute of Ammonia Refrigeration
1001 North Fairfax Street
Suite 503
Alexandria, VA 22314

+ 1-703-312-4200 (voice)
+ 1-703-312-0065 (fax)
www.iiar.org

2014 Industrial Refrigeration Conference & Heavy Equipment Show
Nashville, Tennessee



Trabajo técnico #4

Sistema de Deshielo Por Gas Caliente Con Retorno de Refrigerante a Condensadores Con Refrigerante R-717

Jorge Sifaqui Clausen
Consultor Independiente en refrigeración industrial
Santiago de Chile

Abstracto:

El propósito del trabajo es proponer una forma de deshielo con gas caliente en sistemas de refrigeración con amoníaco sin variar la presión de evaporación.

La línea de descarga posee una válvula servo instalada entre los compresores y condensadores, dividiendo el tramo en dos. El gas caliente para deshielo proviene de la línea de descarga, tomada en el tramo comprendido entre los compresores y válvula servo; el retorno de gas y refrigerante condensado se conecta al tramo entre la válvula servo y condensadores de la línea de descarga.

Introducción

Deshielo implica eliminar la formación de hielo que se produce en los evaporadores, por sobre todo de tipo aletado, al operar éstos a una temperatura de evaporación inferior a 0°C. Por consiguiente, es un proceso solo aplicable a intercambiadores que cumplan esa condición.

El deshielo es una de las operaciones necesarias en la mayoría de las instalaciones frigoríficas que usan enfriadores de aire, a fin que éstos puedan seguir operando en condiciones razonables de capacidad de refrigeración o potencia frigorífica. Constituye, sin duda, un proceso perturbador ya que genera cargas térmicas no deseadas, consecuencia de las ineficiencias asociadas y cambios en las presiones de operación del sistema, ya sea a nivel de evaporación o condensación.

Existen diferentes sistemas de deshielo, debiendo seleccionarse cuidadosamente el más indicado para cada diseño específico.

Los sistemas de deshielo habitualmente usados son los siguientes:

a) Aire: limitado a aplicaciones donde la temperatura del aire ambiente en el recinto refrigerado esté sobre los 0°C y la temperatura de evaporación en la vecindad de los 0°C. El aporte de calor proviene del calor sensible del aire movido por los ventiladores operando, teniendo la refrigeración detenida.
b) Deshielo por agua: usado mayormente, pero no exclusivamente, en aplicaciones próximas a ambientes de 0°C y temperaturas de evaporación no menores de -10°C; excepto si no se cuenta con suficiente agua en cantidad y temperatura. Este último aspecto puede quedar cubierto con algún sistema de recuperación de calor, como por ejemplo, enfriadores de aceite en compresores de tornillo, condensadores enfriados por agua operando en paralelo con evaporativos o desrecalentadores instalados en la descarga de los compresores.
c) Deshielo por gas caliente: usado principalmente en aplicaciones de baja temperatura, sin estar limitado a éstas. Para su aplicación, se requiere contar

con fuentes importantes de generación de gas caliente. En términos prácticos, es necesario una proporción entre superficie a deshielar versus superficie evaporando de 1:3. En este caso, el calor para fundir el hielo adherido a las aletas y tubos de evaporador es entregado como consecuencia del proceso de desrecalentamiento y sobre todo de condensación del gas caliente que circula por el interior de los tubos. Una parte importante del gas caliente que pasa por el enfriador de aire no condensa, sale del enfriador como vapor saturado en cantidades desconocidas. Un sistema bien diseñado y contando con los controles necesarios permitirá conseguir un deshielo eficiente y rápido.

d) Calefacción eléctrica: usado en situaciones donde no pueda aplicarse el deshielo por aire, o donde este último proceso resultará demasiado lento. Se usa principalmente en evaporadores con tubos de cobre y aletas de aluminio, por la alta conductividad térmica de estos materiales. Es más utilizado, además, en evaporadores que funcionan por expansión seca (DX). Aun existiendo aplicaciones donde se usa en evaporadores de acero, este método no resulta algo habitual, excepto si no fueran aplicables los demás sistemas disponibles –deshielo por agua o gas caliente–, por ejemplo:

Falta de agua en cantidad y temperatura adecuada.

Generación de gas caliente insuficiente, planta con solo un consumidor. Ej: Túnel IQF.

Este trabajo pretende centrarse en este último sistema y muy particularmente en aquel que retorna el refrigerante condensado por el proceso, a la línea de descarga.

En primer lugar, repasaremos las variables a evaluar para determinar el sistema que mejor se ajuste a una aplicación específica:

a) Temperatura del recinto refrigerado
b) Temperatura de evaporación del refrigerante
c) Disponibilidad de agua en cantidad y temperatura
d) Disponibilidad de medios para calefaccionar el agua usando el calor disipado por el sistema frigorífico



e) Posibilidades de reciclar el agua
f) Disponibilidad de gas caliente
g) Restricciones para el uso de electricidad para deshelar por calefacción
h) Costo del agua y costo de la energía eléctrica

Sistema por gas caliente

Ya señalamos más arriba que este trabajo se concentrará en este tipo de deshielo. Existen al respecto básicamente tres sistemas:

Con retorno a línea de succión

El retorno de gas a la línea de succión es eficiente como deshielo, pero tiene efectos sobre la presión de succión, como consecuencia del gas caliente que no alcanza a condensar. Esta carga tiene un mayor efecto mientras menor sea la temperatura de evaporación del sistema. Lleva a una inestabilidad en la presión en la succión de los compresores, excepto se consulte compresión adicional destinada a absorber la variación, con el consiguente mayor inversión e incremento en el costo operacional.

Por lo expuesto, no se recomienda cuando se necesita temperatura de evaporación constante con productos muy sensibles a variaciones de temperatura. Ejemplo: cámaras de enfriamiento de carne en vara (sin embalaje).

Con retorno a una presión intermedia

El retorno de gas a líneas de presión intermedia es usado en plantas con sistemas de compresión en dos etapas o sistemas que se proveen de un estanque-trampa que opere a una presión menor a la presión de condensación; además, la instalación debe tener un enfriador intermedio abierto y capacidad para recibir los gases condensados provenientes de deshielos y un sistema adecuado para trasladarlos donde puedan ser reutilizados.

Con retorno a condensadores

El retorno de gas caliente a los condensadores por diferencia de presión creada en la línea de descarga, por una válvula servo que divide en dos el tramo comprendido entre los compresores y condensadores (ver figura 3). El gas caliente no condensado no afecta la succión de los compresores. Para disponer de gas caliente, se necesita que uno o más compresores trabajen temporalmente con una presión de descarga al menos 1 bar sobre la del resto de los compresores. Es importante notar que el diferencial de presión que impulsa el gas caliente y el retorno de los condensados es tan solo 1 bar.

Este sistema es usado en plantas industriales con sistemas de compresión en una o dos etapas, operando por bombas o gravedad.

Cálculo carga térmica para fundir el hielo en proceso de deshielo

Se tomará como ejemplo un evaporador de las siguientes características:

Capacidad térmica:	100 kW
Refrigerante:	R 717
Separación de aletas:	10 mm
Espesor de hielo:	1 mm
Densidad de hielo:	300 Kg/m^3
Superficie de intercambio térmico:	450 m^2
Peso de hielo	135 Kg
Temperatura de inicio:	-35 °C
Temperatura final:	5 °C

Calor especifico hielo:	2.1 kJ/Kg * K
Calor especifico agua:	4.2 kJ/Kg * K
Calor de fusión del agua:	336 kJ/Kg * K
Temperatura de evaporación:	-35 ºC
Temperatura de condensación:	35 ºC

Energía para calentar el hielo hasta 0 ºC:

Q1	=	m x cp x dT = 135 x 2.1 x 35 = 9.922,50 kJ
Q1	=	Calor kJ
m	=	Masa hielo Kg
cp	=	Calor especifico hielo kJ/Kg * K
dt	=	Diferencia temperatura ºC

Energía para fundir hielo:

Q2	=	m x cf
Q2	=	135 x 336 = 45.360 kJ
Q2	=	Calor para fundir el hielo kJ
m	=	Masa hielo Kg
cf	=	Calor de fusión del hielo kJ

Energía para calentar el agua hasta 5 ºC:

Q3	=	m x cp x dt
Q3	=	135 x 4.2 x 5 = 2.835 kJ

Calor total necesario para fundir el hielo = Q1 + Q2 + Q3 = 58.117,50 kJ = 13.837,5 Kcal / h = 16,1 kWh

Si el descongelado se hace en 15 minutos, por tanto la potencia calefactora requerida es 16.1*60/15 = 64.4 Kw.

Si el descongelado se hace en 25 minutos, por tanto la potencia calefactora requerida es 16.1*60/25 = 38.64 Kw.

El calor antes calculado es solo para transformar el hielo del evaporador en agua.

El calor por radiación y calor por convección son cargas parásitas del sistema operando a temperatura de evaporación de diseño, independiente del sistema de deshielo por gas caliente.

Potencia necesaria para comprimir el gas caliente en sistema con retorno a línea de succión

Considerando que para fundir el hielo del evaporador del ejemplo se necesita una potencia calefactora de 64.4 Kw. Considerando un compresor de pistón de dos etapas trabajando desde -35 °C a 35 °C, se necesita una potencia 35.9 Kw de acuerdo al programa de selección de compresores.

Potencia necesaria para comprimir el gas caliente en sistema con retorno a línea de descarga

Considerando que para fundir el hielo del evaporador del ejemplo se necesita una potencia calefactora de 64.4 Kw. Considerando un compresor de pistón de dos etapas trabajando desde -35 °C a 37 °C, se necesita una potencia 40.9 Kw de acuerdo al programa de selección de compresores.

Comparación

Comparando ambas potencias, la diferencia es solo del 3% mayor usando retorno de gas caliente a los condensadores.

Componentes manuales y automáticos

Los componentes manuales y automáticos usados para deshielo por gas caliente con retorno a los condensadores son los siguientes:

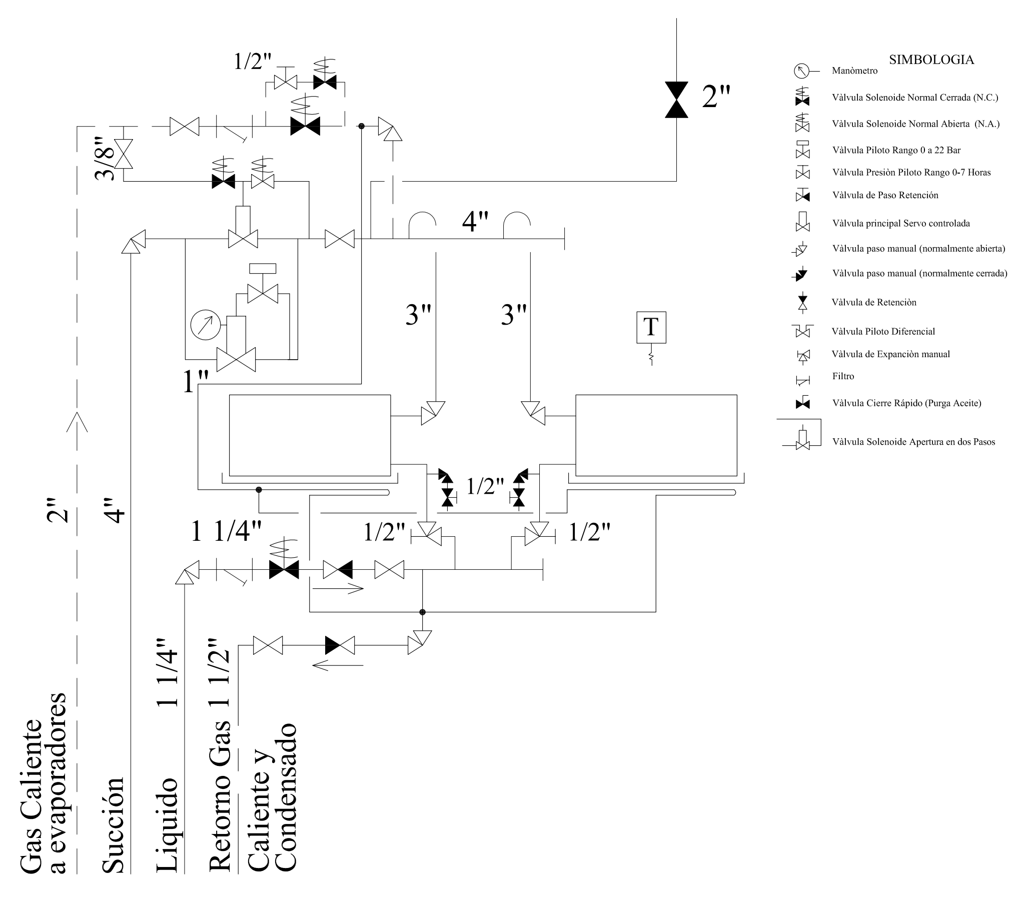


Figura 1: Cámara congelado

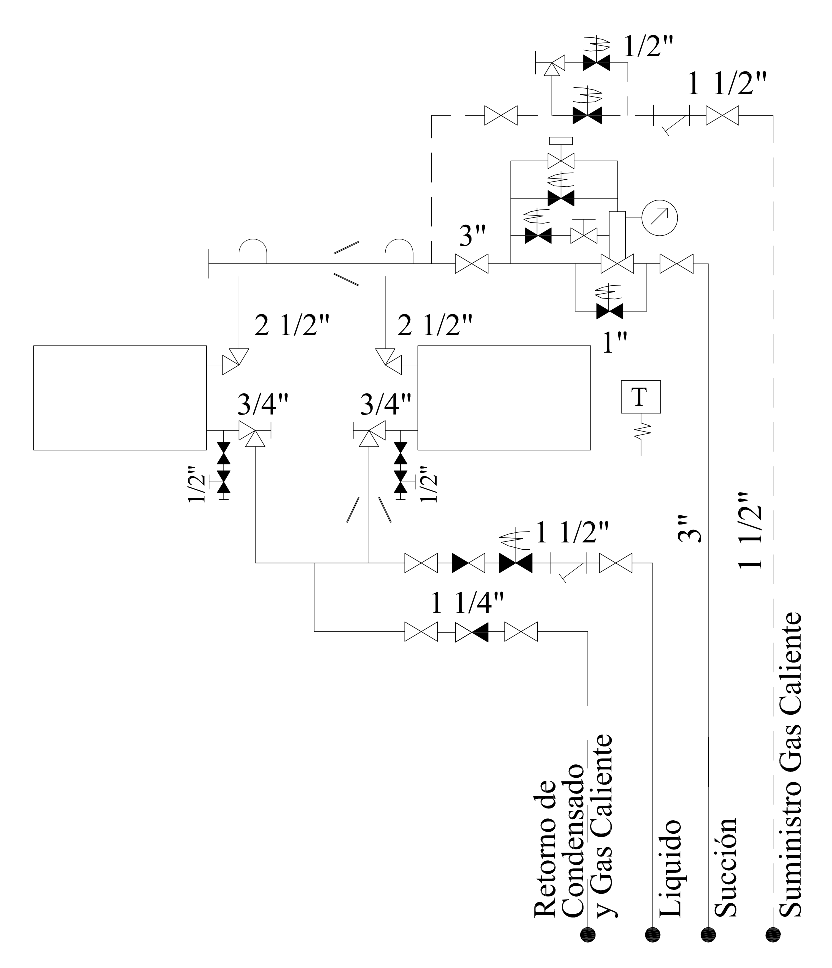


Figura 2: Tunel pre-frío para frutas

Conjunto de suministro gas caliente en sentido del flujo:

Válvula manual de servicio + filtro + válvula solenoide principal + (en *by pass* a la válvula solenoide principal) válvula solenoide + válvula de regulación manual para presurizar el evaporador lentamente + válvula manual de servicio. Conjunto conectado a la succión del evaporador.

En cámaras de baja temperatura, la bandeja del evaporador debe estar provista de un serpentín con gas caliente para evitar acumulación de hielo en ésta. A la salida



del gas caliente de la bandeja, debe instalarse una válvula de retención para evitar acumulación de líquido en el serpentín evitando arrastres violentos de líquido al inicio de los deshielos.

Conjunto de retorno de refrigerante condensado a condensadores:

Válvula de servicio + válvula de retención + válvula manual de servicio. Conjunto conectado a la línea de descarga entre la válvula servo y el condensador evaporativo.

Detalles de la instalación

En la línea de descarga en el tramo comprendido entre compresores y condensadores se instala:

- Válvula de servicio + válvula servo controlada por válvula piloto diferencial + válvula solenoide normal abierta + válvula manual de servicio + manómetro con rango mínimo 0 a 20 bar.
- Válvula manual de servicio instalada en *by-pass* al conjunto descrito anteriormente para dar servicio a válvula servo sin detener la planta.
- Válvula manual de suministro de gas caliente instalada en matriz de descarga en tramo comprendido entre compresores y válvula servo.
- Válvula manual de retorno de refrigerante condensado y gaseoso instalada en matriz de descarga en tramo comprendido entre válvula servo y condensadores.

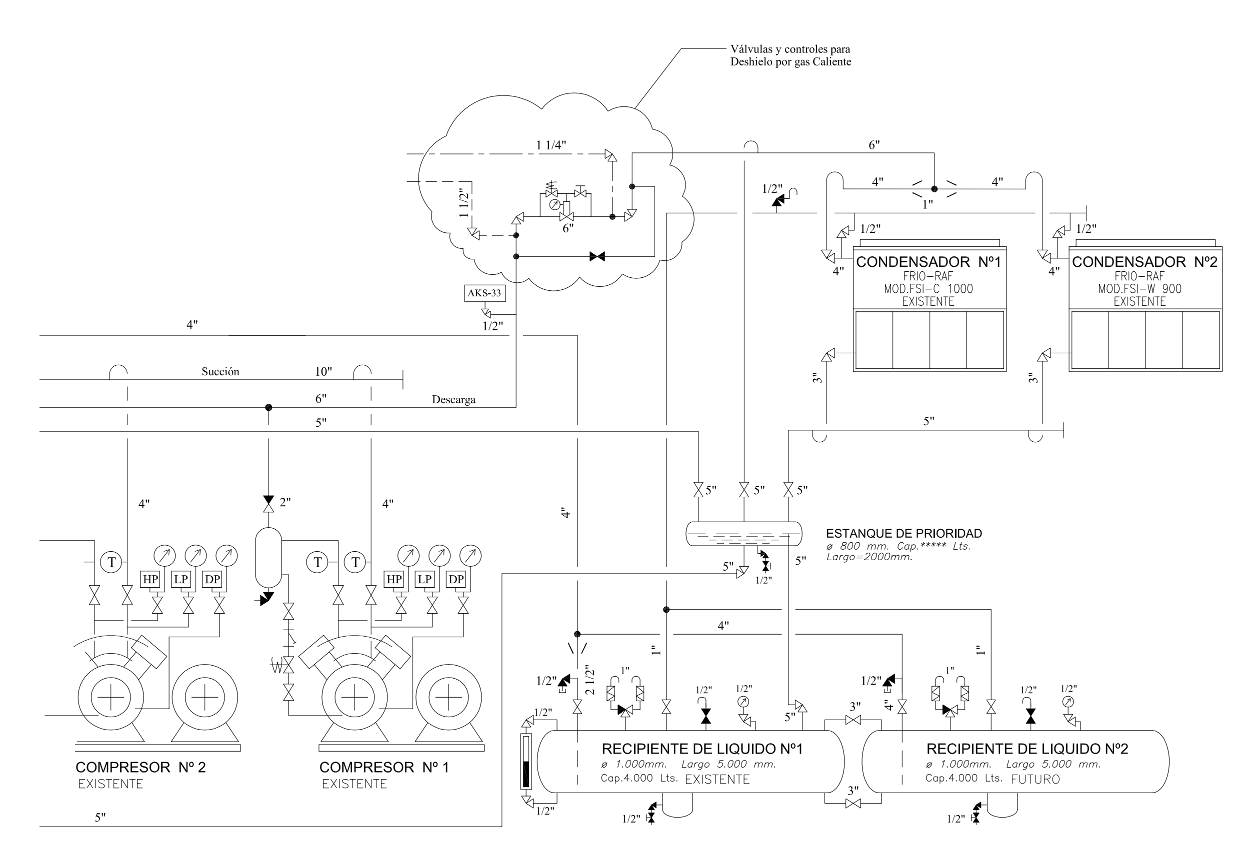


Figura 3: Sala de máquinas

En plantas con control de presión de condensación, el sensor de presión debe instalarse en el tramo de la línea de descarga comprendido entre los compresores y la válvula servo.

En la línea de líquido el conjunto debe tener una válvula de retención entre la válvula solenoide de líquido y el evaporador, y debe ser instalada en el orden descrito para evitar gas de alta presión en esta línea y además evitar que líquido atrapado pueda romper algún componente.

En la línea de succión, debe tener una válvula solenoide en el *by-pass* a la válvula servo principal. Si la instalación es de congelado, se reemplaza por una válvula solenoide con apertura en dos tiempos para bajar la presión del evaporador después

del deshielo lentamente, evitando cambios de presión violentos para no dañar el circuito de cañerías por golpes hidráulicos.

Operación del circuito de deshielo por gas caliente

El circuito de deshielo por gas caliente opera de la siguiente forma (ver figuras 1, 2 y 3):

Debe tener todas las válvulas manuales de servicio abiertas.

1. Inicio de *pump down*, deteniendo solo el suministro de líquido al evaporador mediante el cierre de la válvula solenoide respectiva, de manera de evaporar la mayor cantidad del refrigerante líquido contenido en éste.

2. Detiene la refrigeración, cerrando las válvulas solenoides de succión y líquido, además de los ventiladores si el equipo los posee.

3. Conecta la válvula solenoide *by pass* de gas caliente para presurizar el evaporador en forma temporal hasta subir la presión en el evaporador.

4. Conecta la válvula solenoide de gas caliente principal de deshielo y la válvula solenoide normal abierta en la válvula servo instalada en la línea de descarga para producir un diferencial de presión mínimo de 1 bar entre la entrada y salida de ésta; el gas caliente circulará hacia los evaporadores y el condensado junto al vapor excedente que retornará a los condensadores por el tiempo de deshielo.

5. Terminado el período de deshielo, se desenergiza la válvula solenoide de suministro de gas caliente y el servo de línea de descarga.

6. Tiempo de goteo del evaporador, detenida la refrigeración y deshielo en forma temporal permite el escurrimiento del agua en las aletas del evaporador.

7. Conecta la válvula solenoide en el *by pass* a la válvula servo de succión o las válvulas solenoide de servo de dos etapas para ecualizar la presión del evaporador con la succión.

8. Una vez ecualizada la presión, se inicia nuevamente la refrigeración sin ventilación, para evitar proyección de agua sobre la carga de la cámara.

9. Por último, transcurrido el tiempo anterior, operan los ventiladores en forma normal, normalizando la refrigeración.

10. Los tiempos de cada etapa son experimentales de acuerdo con:
    - El clima de la zona de la instalación.
    - El tipo de producto almacenado.
    - El tráfico en las cámaras.

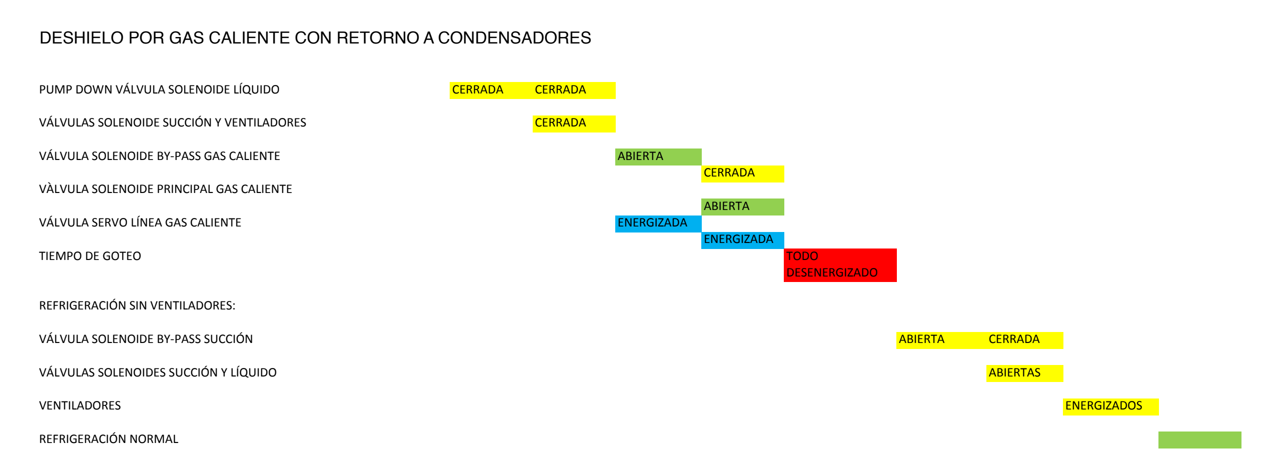


Figura 4: Tiempos del deshielo por gas caliente con retorno a condensadores



Dimensionamiento

Para dimensionar las tuberías y componentes asociados al deshielo por gas caliente, se usan medios aproximados en base a la experiencia.

Otro factor que se debe considerar para efectos de diseño de cañerías y válvulas, es que parte del gas caliente no alcanza a condensar.

La capacidad de las líneas que transportan gas caliente para deshielos se estima en base a recomendaciones empíricas basadas en la potencia frigorífica de los evaporadores en deshielo. Se sugieren capacidades de transporte equivalentes entre 1 y dos veces la potencia de los evaporadores. En este ejemplo, entre 100 y 200 Kw.

Un buen método para dimensionar la tubería de gas caliente al evaporador es utilizar 2,5 veces la capacidad frigorífica del o los evaporadores a deshelar en cada ciclo y dimensionarla como cañería de descarga con la ayuda de un programa para este fin.

Para la tubería de retorno de gas caliente desde el evaporador a los condensadores, por experiencia se recomienda dimensionar un diámetro menor que la tubería de suministro de gas caliente al evaporador.

Las válvulas manuales, de solenoide, válvulas de retención y filtros principales deben seguir el diámetro de la cañería de suministro y retorno de gas caliente calculada.

Existe otra regla experimental consistente en dimensionar la tubería de gas caliente un diámetro inmediatamente superior a la de líquido del o los correspondientes evaporadores a deshielar.

Otra forma de cálculo es usar el siguiente diagrama:

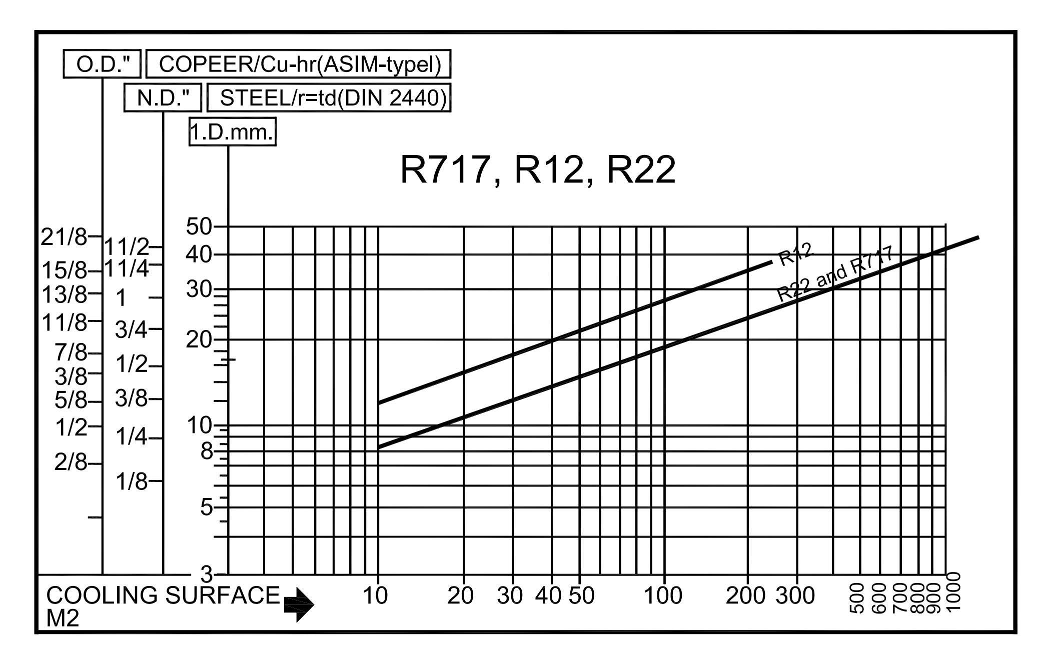


Figura 5: Branch lines for hot gas defrosting

Notas:

1. No es recomendable implementar este tipo de deshielo en evaporadores con tubos de aluminio; se puede usar solamente con certificado de pruebas de presión para a lo menos 25 bar.

2. Si la instalación de refrigeración tiene compresores con enfriamiento de aceite por termosifón, debe considerarse que el retorno de gases del enfriamiento de aceite a los condensadores debe estar conectado en el tramo comprendido entre la válvula servo y los condensadores.

De no ser así, el compresor se detendrá por la temperatura de aceite durante un deshielo, la presión de los gases de descarga sería mayor que la del tanque siempre lleno instalado a la salida de líquido de los condensadores.

Bibliografía:

"Branch Lines for Hot-Gas Defrosting". Departamento Ingeniería Sabroe-Atlas. Dinamarca. Fecha desconocida.

Technical Bulletin, Colmac Coil, Optimizing Hot Gas defrost. 2011.

"Hot Gas Defrost Systems for Large Evaporators in Ammonia Liquid Overfeed Systems". IIAR, George C. Briley / Thomas A. Lyons, marzo de 1992.

IRC Back to basics Defrost vol. 8 Nº 4 2008.

ASHRAE Journal, febrero de 2009, "Frost on air cooling evaporators".

Notes: